

単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXVII)*

接触面積拘束工具による単板切削現象の一考察 (2)

杉 山 滋

長崎大学教育学部技術教育教室

(平成16年3月15日受理)

Studies on Veneer Cutting Machine (XXVII)*

Some Considerations on Veneer Cutting Phenomenon
by Tool with Restricted Tool-Chip Contact-Length (2)

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology Education, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received March 15, 2004)

Abstract

In this study, the normal and frictional tool force components were measured in the veneer cutting without a pressure bar, using the tool with the restricted tool-chip contact length. The factors affecting the veneer quality were discussed on the basis of the experimental results obtained. The results obtained are summarized as follows:

(1) The frictional coefficients (μ) on the interface between the restricted tool and the chip decrease as the tool-chip contact length (ℓ_r) of the restricted tool decreases. The decreasing tendency of μ is more remarkable when cutting water-saturated workpieces than when cutting air-dried ones. These phenomena can be explained qualitatively on the basis of the stress distributions over the rake face of the restricted tool (Fig. 2).

(2) As ℓ_r decreases, the degree of the stress concentrations near the tool edge increases remarkably. The increasing tendency of the normal stress concentration is more remarkable than that of the frictional stress concentration (Figs. 2~3).

(3) As ℓ_r decreases, the chip curvature and the knife check of the chip decrease (Figs. 4~5 and Photo. 2) and the surfaces of veneer produced become relatively good (Photo. 1).

1. 緒 言

これまでの研究^{1), 2)}では, プレッシュバーを作用させない場合の単板切削における工具すくい面と切屑(即ち, 単板)との接触境界面に働く切削応力および摩擦挙動について, 基礎的知見を得ることができた。その中で, 人為的に切屑(単板)接触面積を拘束することにより, すくい面の摩擦に変化をもたらし, プレッシュバー作用時の切削現象に近づけ得ること, などを明らかにした。本研究では, 人為的に切屑接触面積を拘束した工具(即ち, 接触面積拘束工具)を用い, その工具の単板性状に対する性能を確認するとともに,

* 前報「単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXVI) Studies on Veneer Cutting Machine (XXVI)」は, 長崎大学教育学部紀要 - 自然科学 - 第71号 11~16 (2004.6)に掲載。

諸現象の観察を通じて、単板の切削現象を決定する直接的な要因を推定することを、主たる目的とした。

2. 実験方法

既報³⁾で切削応力分布などを測定する方法を検討した分割工具を用い、切れ刃となる T_2 ナイフを T_1 ナイフより大きく突出させた、いわゆる分割工具を、一種の接触面積拘束工具として用いた。同工具を、切削実験装置に、逃げ角 α が 1° 一定に保ち得るように固定し、所定の切込量 t を与えたのち、切削実験装置の送り台に固定された試験片を、同工具に送り込むことにより（試験片送り速度 $f=144.9 \text{ mm/min}$ ）、切削が行われる^{*1}。

3. 実験結果および考察

前報¹⁾では、接触面積拘束工具の T_2 ナイフすくい面長さ l_r を種々変化させ、 T_2 ナイフに加わる垂直力 N および摩擦力 F を測定し、つぎのような結果が得られた。飽水材の切削では、板目面の横切削 (T_1 の記号で略記する。) および柁目面の横切削 (R_1 の記号で略記する。) のいずれの場合も、 l_r の減少に伴い、 F は、若干指数関数的に減少しているが、 N は、 l_r の減少とは関係なくほぼ一定となっている。また、気乾材の切削では、 N, F とともに、 l_r の影響を受けず、ほぼ一定となっている。

このように、 l_r の減少に伴い、 N や F の減少の程度が小さいか、または殆ど変化しないことは、刃先端付近の応力集中の程度が大きくなること、およびナイフすくい面の摩擦係数が減少すること、を意味すると考えられる。

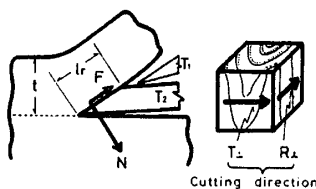


Fig. 1. Test specimen and cutting direction.

t : depth of cut; T_1 - and T_2 - knives: composite tool; N and F : normal and frictional forces; l_r : tool-chip contact length.

このような前報の結果に基づいて、すくい面の摩擦係数 μ の減少する傾向を考えてみる。まず、接触面積拘束工具のすくい面上に働く切削応力分布の推定図を、Fig. 2 に図解する（図は、すくい面の長さ l_r の接触面積拘束工具すくい面上に働く切削応力のうちの垂直応力 σ の場合についてを、図解したものである）。Fig. 2 (b) では、すくい面長さ l_{r1} 、 l_{r2} の拘束工具すくい面上の切削応力分布を示しているが、刃先からすくい面に垂直な軸と、すくい面および切削応力分布曲線に囲まれた面積をそれぞれ $S_{(l_{r1})}$ 、 $S_{(l_{r2})}$ とすると、これらは l_{r1} または l_{r2} をもつすくい面上に加わる N （または、 F ）に相当す

*1 供試材には、フィリピン産レッドラワン (*Shorea negrosensis*) が用いられ、その同一原木から辺材部を除いた心材部より二方柁の角材が木取りされ、単板切削を対象とした横切削が行い得るように、その角材から70 (切削長) \times 60 \times 8 \sim 10 mm (切削幅) の寸法の試験片が採取された。それらは、気乾状態 (平均気乾比重0.51, 平均含水率12.0%) と飽水状態 (4 \sim 6ヶ月間水中に浸漬し、水中に沈んだ状態) に調整後、それぞれ供試された。

切削方向は、切削面が板目 (木表側を切削) の横切削と、切削面が柁目 (木表側より切削) の横切削の2方向である (Fig. 1)。実験方法は、分割工具による切削抵抗の測定^{1), 2)}と同様であり、一切込量あたり約20回の繰り返し切削を行い、 T_2 ナイフに加わる切削抵抗の垂直力 N および摩擦力 F (Fig. 1 の N または F) の測定を主として行った。本実験で採用した T_2 ナイフ (材質は高速度鋼 SKH 2) の刃先角 β は 21° 、 T_2 のすくい面接触長さ l_r は、最小0.2 mmから、最大は通常工具による設定された切込量における実際の切屑接触長さ l_k までの範囲であり、その間で数段階に変化させた。なお、切込量 t は0.8 \sim 7.0 mmであり、それぞれの t における l_k は、既報の結果²⁾より求めた。ここで、 $l_r \geq l_k$ となれば、接触面積拘束工具は、通常工具と同じ働きとなる。

この実験のように、人為的に切屑接触面積を拘束して切削を行うと、すくい面に加わる垂直応力の増大が期待され、その結果、摩擦係数 μ の減少が予想される^{3), 4)}。このような μ の変化による切削現象の変化を考える場合に、切屑の彎曲現象、割れの状態および切削面の良否を観察し、切削現象の変化の判定の補助とした。なお、切屑の彎曲現象の測定は、切削直後の切屑の側面 (木口面) にスタンプインクを塗り、台紙に転写後その曲率半径を測定した。その際、切削の始めと終りの彎曲状態の不安定期を除き、切削長さの中央部を測定した。割れの測定は、切屑裏面にスタンプインクを含浸させ、乾燥後、切屑の木口面を切断し、同面を万能投影機で拡大観察した。切屑の切削面の良否は、被削材 (母材) の凹凸の程度によって評価した。

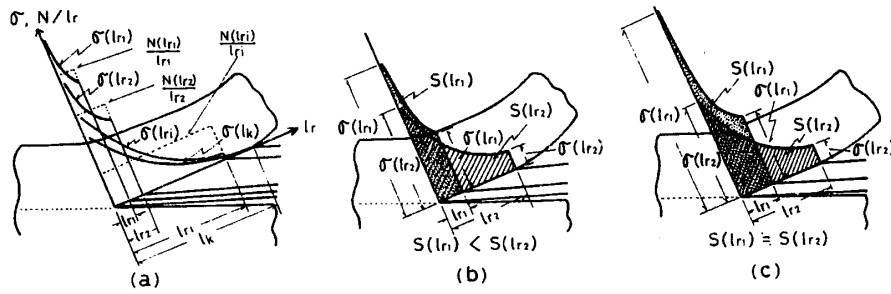


Fig. 2. Estimate of stress distribution over rake face of tool with restricted tool-chip contact length.

$\sigma(l_r)$: normal stress over restricted tool rake face (l_r) ; l_r : refer to Fig. 1 ;
 N/l_r : normal force per unit contact area on restricted tool rake face (l_r) ;
 l_k : actual chip contact length on conventional tool rake face²⁾ ; $\sigma(l_k)$:
 actual normal stress over conventional tool rake face²⁾ ; $S(l_r) = N(l_r) = \int_0^{l_r} \sigma(l_r) dl_r$.

る³⁾。したがって、 $S(l_{r1}) < S(l_{r2})$ となるためには、Fig. 2 (b)のように、 l_{r1} をもつすくい面上の切削応力が、 l_{r2} をもつすくい面上の切削応力とはほぼ同じ程度の大きさになっていると考えられる。一方、Fig. 2 (c)では、 $S(l_{r1}) = S(l_{r2})$ の場合を示しているが、この場合においては、 l_{r1} をもつすくい面上の切削応力が、 l_{r2} をもつすくい面上の切削応力より大きくなると考えられる。飽水材の板目面および柁目面の横切削時の F がFig. 2 (b)に相当し、その他の場合がFig. 2 (c)に相当している。ここで、これまでの研究⁵⁾より誘導した摩擦係数 μ_i (添字の i は、ナイフすくい面上の着目位置を示すが、本文では、添字を除いて示す。 τ および σ を、それぞれすくい面に働く摩擦応力および垂直応力とする)、即ち、

$$\mu_i = \tau_i / \sigma_i \quad (\text{添字を除くと、} \mu = \tau / \sigma) \quad (1)$$

を拘束工具に適用して考えてみる。飽水材の切削においては、 l_r が減少するに伴い F が減少するが、 l_r をもつすくい面上の実際の摩擦応力 τ には、大きな変化を生じさせない。一方、 N は、 l_r の減少とはほぼ関係なく一定となっているから、 l_r をもつすくい面上の実際の垂直応力 σ は、 l_r の減少に伴い大きくなる。したがって、(1)式から求められる μ は、 l_r の減少に伴い極めて減少すると考えられる。なお、気乾材の切削においては、拘束工具すくい面上の切削応力分布の詳細な解明を待たなければ正しく判断できないが、つぎのように推察できる。即ち、 l_r が減少しても、 N および F は、殆ど変化を示さないから、 l_r の減少に伴い、すくい面上で σ および τ がともに増加することになる。したがって、 μ の変化は、これら両応力の増加の程度によって決定されることになる。これまでの結果^{1), 5)}によれば、分割工具の T_2 ナイフに加わる N または F と、分割工具と同じすくい面長さをもつ拘束工具の T_2 ナイフに加わる N または F との比率は、気乾材では、 N が1.6~2.1倍、 F が1.0~1.4倍であり、拘束工具の方が大きくなっている。したがって、比率の大きい N の方が、 F よりも応力の増加割合が大きいといえるから、 μ は、 l_r の減少に伴い若干漸減する筈である。しかし、飽水材よりも μ の減少割合は少ない、と考えられる。

このように、 l_r が減少することによって、すくい面の摩擦係数 μ は減少するが、さらには、刃先先端付近に加わる切削応力が增大することもわかる。拘束工具すくい面上の切削応力分布の傾向は、Fig. 2 (b)およびFig. 2 (c)で定性的に説明し得るが、その応力の値は未知である。そこで、刃先先端付近の応力集中の程度を究明するために、Fig. 2 (a)のように、 l_r をもつすくい面上の平均的な応力で推定を試みた。Fig. 2 (a)では、 l_r の

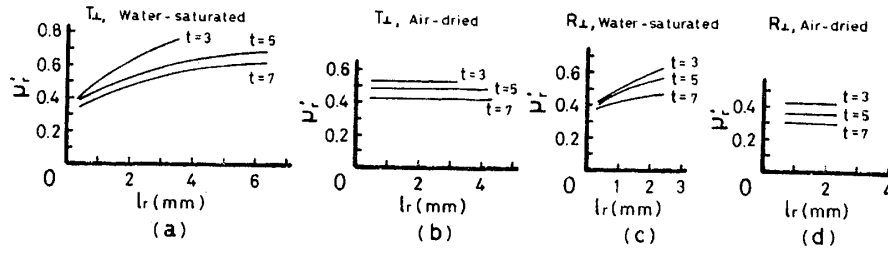


Fig. 3. Relation between tool-chip contact length (ℓ_r) and ratio (μ_r') of F/ℓ_r to N/ℓ_r .
 F/ℓ_r , N/ℓ_r : refer to Figs. 1 and 2; cutting direction T_L and R_L : refer to Fig. 1;
 t : depth of cut (mm).

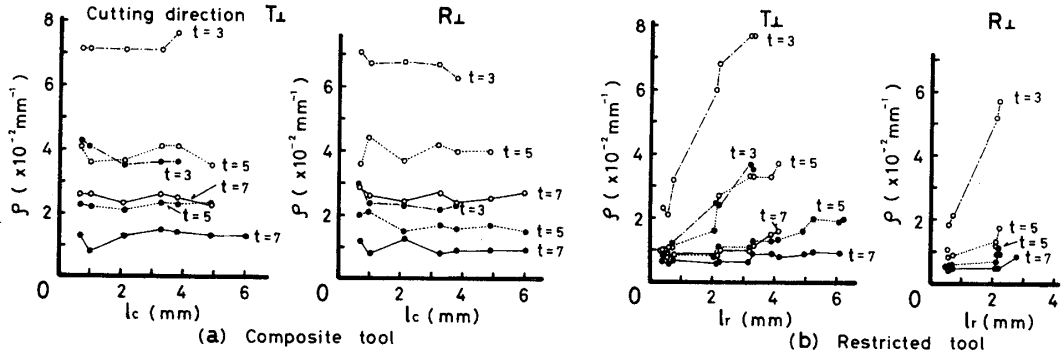


Fig. 4. Relation between chip contact length (ℓ_c , ℓ_r) and chip curvature (ρ).
 \bullet — \bullet : water-saturated; \circ — \circ : air-dried; t : depth of cut (mm); ℓ_c : rake face length of T_2 -knife in composite tool divided into two parts¹⁾; ℓ_r : refer to Figs. 1 and 2; cutting direction T_L and R_L : refer to Fig. 1.

長さをもつすくい面上の ℓ_r 長さあたりの N , 即ち, N/ℓ_r (すくい面と切屑の単位接触面積あたりの平均垂直応力に相当する。) の分布を示している。 N/ℓ_r または F/ℓ_r では, 刃先先端付近の応力集中を正確に推定できないが, 刃先先端付近の平均的な応力集中の程度は判る筈である。このような趣旨で, 刃先先端付近の応力集中の程度を推定してみる。分割工具によるすくい面の切削応力分布の結果⁴⁾を参照すると, Fig. 2 (a)に示したように, 実際には刃先付近では, 平均的な応力 N/ℓ_r よりさらに大きく, 刃先に向うに伴い指数関数的な増加を示す応力分布をしている, と考えられる。両応力 N/ℓ_r , F/ℓ_r の集中の程度およびすくい面の摩擦係数 μ の変化を検討するために, F/ℓ_r と N/ℓ_r の比, 即ち,

$$\mu_r' = (F/\ell_r) / (N/\ell_r) = F/N \quad (2)$$

を求めた。その結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 (a)および Fig. 3 (c)の飽水材では, ℓ_r の減少に伴い μ_r' の減少傾向がみられるが, Fig. 3 (b)および Fig. 3 (d)の気乾材では, ℓ_r の変化の影響はうけずにはほぼ一定となっている。これらの結果は, Fig. 2 (a)のように, ℓ_r

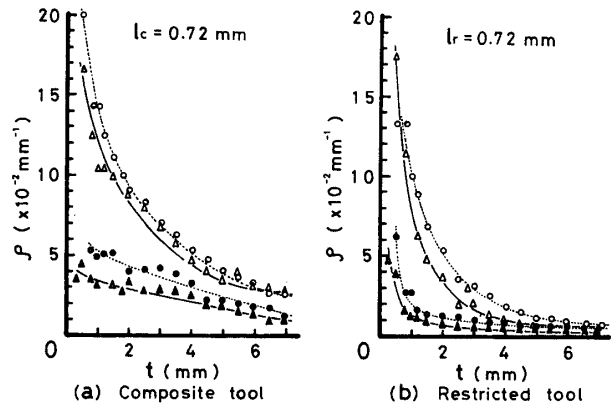



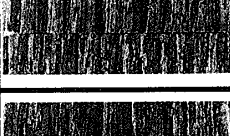

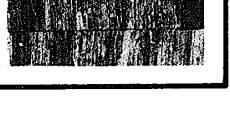


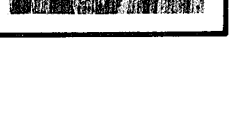


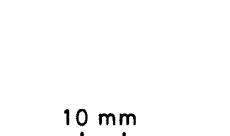
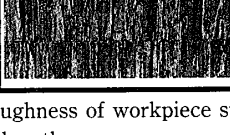
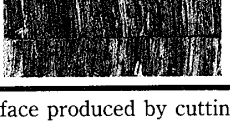
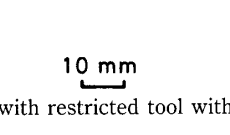
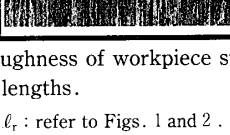
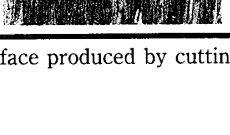
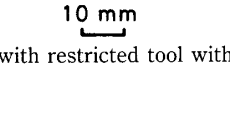


Fig. 5. Relation between depth of cut (t) and chip curvature (ρ).
 \bullet — \bullet : T_L , water-saturated; \circ — \circ : T_L , air-dried;
 \blacktriangle — \blacktriangle : R_L , water-saturated; \triangle — \triangle : R_L , air-dried;
 ℓ_c , ℓ_r : refer to Fig. 4; cutting direction T_L and R_L : refer to Fig. 1.

をもつすくい面上での平均的な応力 N/l_r , F/l_r に基づくものであるが, 拘束工具すくい面上の実際の応力分布を考慮に入れると, 刃先先端付近では, 応力集中が極めて大きくなり, その結果として, μ は, l_r が小さくなるに伴い減少する, と考えられる。この場合に, Fig. 3 (a), Fig. 3 (c) のように, 飽水材での μ の減少は, 主として垂直応力 σ の応力集中の増大に起因するが, Fig. 3 (b), Fig. 3 (d) のように, 気乾材では, 摩擦応力 τ および垂直応力 σ の応力集中がともに増大するから (τ より σ の方が増加する割合が大きい), 飽水材よりも気乾材では, μ は, 著しくは減少しない。



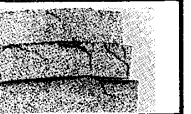





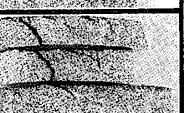


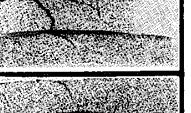

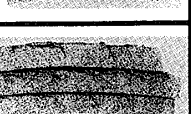

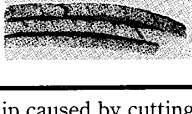
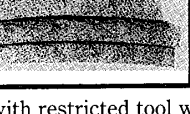
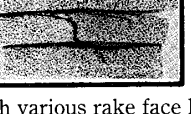
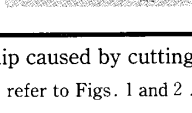
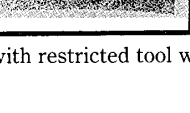
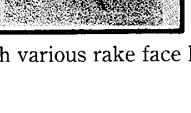
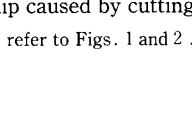
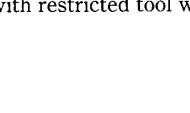
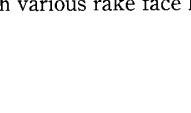



このように拘束工具では, μ の減少の原因となる刃先先端付近の応力集中の程度に影響を及ぼし, その結果, 工具刃先の摩耗, 刃先の剛性にも重大な影響をもたらす, と考えられる。これらの現象は, プレッシャバーを作用させた場合の単板切削の諸現象と類似点が多い。一方, 生成される切屑にも, 与える影響は大きい, と考えられる。 μ の減少および刃先先端付近の応力集中の程度が増加するに伴い, 切屑がどのような変化を示すか, 考えてみる。まず, 切屑彎曲現象の変化の例を, 分割工具による切削時の彎曲と比較して, Fig. 4 および Fig. 5 に示す。Fig. 4 (a) では, 分割工具の T_2 ナイフすくい面長さ l_c を変化させても, 当然, 曲率 ρ (曲率半径の逆数) に変化はなく, 一定とならなければならないが, 拘束工具 (Fig. 4 (b)) では, l_r の減少に伴い, ρ が指数関数的に減少し, しかも,

Workpiece condition	l_r (mm)	Depth of cut (t) (mm)		
		$t = 3$	$t = 5$	$t = 7$
Air-dried	8.41			
	3.39			
	0.88			
Water-saturated	8.41			
	3.39			
	0.88			

10 mm

Photo. 1. An example of roughness of workpiece surface produced by cutting with restricted tool with various rake face lengths.

Cutting direction : T_{\perp} in Fig. 1 ; l_r : refer to Figs. 1 and 2 .

Cutting direction	Workpiece condition	l_r (mm)	Depth of cut (t) (mm)		
			$t = 3$	$t = 5$	$t = 7$
T_{\perp}	Water-saturated	8.41			
		3.39			
		0.88			
R_{\perp}	Air-dried	8.41			
		3.39			
		0.88			
	Water-saturated	8.41			
		3.39			
		0.88			

10 mm

Photo. 2. An example of knife check of chip caused by cutting with restricted tool with various rake face lengths.

Cutting direction T_{\perp} and R_{\perp} : refer to Fig. 1 ; l_r : refer to Figs. 1 and 2 .

切込量 t が小さいほど、その傾向が顕著である。Fig. 5 は、 t と ρ の関係を、切削条件別に示したものである。拘束工具 Fig. 5(b) では、 $t = 1 \text{ mm}$ までの切込量では、分割工具 Fig. 5(a) での ρ と大差ないが、 $t > 1 \text{ mm}$ の場合では、 ρ は、分割工具のそれより著しく小さくなる。

このように拘束工具では、 l_r の減少により切屑の曲率を小さくさせ、しかも金属切削の場合⁶⁾と同様に、良好な加工面を形成させ得ることが観察された (Photo. 1)。また、切屑の裏割れでは、割れのピッチには大きく影響しないが、割れの侵入角度に影響を及ぼす。即ち、 l_r が小さくなるほど、侵入長さおよび侵入角度が小さくなり (Photo. 2)、表面の粗さが小さくなることと、曲率が小さくなることも加わって、結果的に、“腰の強い切屑” が得られるようになる。

4. 結 論

プレッシャバーを作用させないで、人為的に切屑 (単板) 接触面積を拘束した工具 (即ち、接触面積拘束工具) を用いて、単板切削を行い、同工具の単板性状 (彎曲、加工面粗さ、割れ) に関する良否を確認するとともに、切削抵抗の測定などを通して、単板の切削現象を決定する直接的な要因を推定した。得られた結果を要約すると、つぎのとおりである。

1) 接触面積拘束工具のすくい面長さ l_r の変化に伴うすくい面上の応力分布を推定し (Fig. 2)、 l_r の減少に伴うすくい面の摩擦係数 μ の減少傾向を定性的に説明し得た。これによれば、 l_r の減少に伴い、飽水材の切削では、気乾材の切削より μ が顕著に減少する。

2) 拘束工具を用いることにより、刃先先端付近の応力集中の程度が増加する。とくに、 l_r が小さくなるほどその傾向が顕著になる。刃先先端付近の応力集中の程度は、垂直応力 σ の方が摩擦応力 τ よりも一層大きい (Fig. 2, Fig. 3)。

3) l_r の減少に伴い、切屑の曲率は小さくなり、表面粗さも小さくなる。しかも、割れの侵入長さおよび侵入角度が、ともに小さくなる変化をもたらす (Fig. 4, Fig. 5, Photo. 1, Photo. 2)。

4) 単板の性状を決定する重要な因子は、主として、刃先先端付近の応力集中の程度と、工具 (ナイフ) - 被削材 (あるいは、切屑) との間の接触面 (とくに、すくい面) の摩擦係数である。

文 献

- 1) 杉山 滋：長崎大学教育学部紀要 - 自然科学 -，第69号，45～50 (2003)。
- 2) 杉山 滋：長崎大学教育学部紀要 - 自然科学 -，第68号，15～21 (2003)。
- 3) 杉山 滋：木材学会誌，23，472～479 (1977)。
- 4) 杉山 滋：木材学会誌，23，480～488 (1977)。
- 5) 杉山 滋：木材学会誌，23，534～539 (1977)。
- 6) 中沢 弘，三瓶直樹：精密機械，43，463 (1977)。
- 7) 大越 諄，福井伸二：精密機械，1，598 (1935)。